

# 디지털 영상처리를 이용한 사장교의 변위 측정

손병직<sup>1</sup>, 전승곤<sup>2</sup>, 허광희<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>건양대학교 해외건설플랜트학과 교수, <sup>2</sup>충남대학교 토목공학과 박사과정

## Displacement Measurement of Cable Stayed Bridge using Digital Image Processing

Son Byung Jik<sup>1</sup>, Jeon Seung Gon<sup>2</sup>, Heo Gwang Hee<sup>\*</sup>

<sup>1</sup>Professor, Department of International Civil & Plant Engineering, Konyang University,

<sup>2</sup>PhD. Candidate, Department of Civil Engineering, Chungnam National University

**요약** 본 논문은 돌산대교 모형 사장교에 하중을 주었을 때 발생하는 변위를 측정하기 위한 방법으로 디지털 영상처리 방법을 도입하여 실험을 하였다. 돌산대교 모형 사장교는 30:1로 축소된 경우로 길이 15.5m, 너비 400mm이다. 실험 방법은 영상처리 결과를 ANSYS 해석결과와 변위계 측정결과를 비교, 분석하여 영상처리 기법의 타당성을 검증하였다. 본 실험에 적용된 영상처리 기법은 상호상관 계수를 적용하였으며, 실험 조건은 100kgf 재하 하였을 때의 변위와 200kgf 재하 하였을 때의 변위를 측정하는 실험을 수행하였다. 분석 결과 하중이 추가적으로 증가하여 발생하는 변위가 커질수록 영상처리에 대한 신뢰성도 증가하는 것으로 나타났다. 즉, 하중이 100kgf에서 200kgf으로 증가할 때, ANSYS 결과대비 오차율이 31%에서 14%로 감소하였으며, 변위계 결과대비 오차율 역시 17%에서 4%로 감소하였다. 200kgf 재하시 14%, 4%의 차이를 보이고 있어, 영상처리 기법으로 충분히 변위를 측정할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 연구로는 동영상 파일로 부터 고유진동수를 측정하는 방법에 대해서 연구하고자 한다.

**Abstract** This paper introduces a method of measuring the displacement of a cable-stayed bridge using digital image processing (DIP). The validity of the DIP technique was confirmed by comparing the results with those obtained using a displacement meter and ANSYS analysis. The normalized cross-correlation (NCC) coefficient was used. 100 kgf and 200 kgf loading experiments were carried out, which showed that when the displacement is large, the reliability of the DIP technique is increased. That is, when the load was increased from 100 kgf to 200kgf, it decreased from 31% to 14% compared to the ANSYS results and from 14% to 4% compared to the displacement meter results. Therefore, the image processing method is able to measure the displacement sufficiently accurately.

**Keywords** : ANSYS, Cable stayed bridge, Displacement meter, Image processing, Normalized cross-correlation(NCC)

### 1. 서론

최근 구조물의 유지관리에 대한 관심이 커지고 있으며, 특히 대형 구조물인 사장교의 유지관리에 대한 중요성이 크게 대두되고 있다. 구조물의 성능저하 및 구조물의 노후화 등으로 구조적 안전성 검토가 많이 요구되고

있다. 공용중인 구조물의 구조적 특성은 최초 설계 당시의 특성과 차이점을 보이는 것이 일반적이며, 부재의 균열 및 구조물의 노후화 등으로 인한 강성저하에 의하여 구조물의 특성에 변화가 나타날 수 있다. (Son et al., 2015) 현재 구조물 유지관리 기법은 인력기반으로 점검자의 육안으로 상태를 평가하기 때문에 많은 시간과 노력이

이 논문은 2014년도(No. 2014R1A1A2058384) 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.

\*Corresponding Author : Heo Gwang Hee

Tel: +82-41-730-5631 email: heo@konyang.ac.kr

Received January 5, 2016

Revised (1st March 7, 2016, 2nd May 11, 2016)

Accepted May 12, 2016

Published May 31, 2016

소모되며, 결과에 대한 객관성 및 신뢰성이 떨어진다. 이러한 문제점을 보완할 수 있는 방법 중의 하나가 디지털 영상처리 기술을 이용하는 것이다.

최근 비약적인 발전을 하고 있는 디지털영상처리 기술이 구조물의 유지관리는 물론 변형률 계지를 부착하지 않고 시편의 변위 및 변형률 측정 등에 활용되고 있다. 영상처리 기술은 방송 및 영화 분야, 의료산업 분야, 보안응용 분야, 산업현장의 공장 자동화, 원격탐사 분야, 출판 및 문서 제작 분야 등 많은 분야에서 널리 사용되고 있는 기술이다. 또한, 토목, 건축 분야에서도 비파괴 구조물 건전성 평가 등으로 활용되고 있다.

디지털영상처리 기술은 점검대상 시설물을 촬영한 디지털 이미지를 분석하여 균열과 같은 열화현상을 검출하고, 또한 변형률 계지를 부착하지 않고 시편의 변위 및 변형률을 측정할 수 있는 기술로서 이러한 이미지 분석 기술을 통해 기존 점검 및 조사에 소요되는 막대한 인력과 비용을 절감할 수 있으며, 점검 시기 및 점검 위치에 대한 제약을 크게 개선할 수 있다.

본 연구에서는 디지털영상처리 기술을 이용하여 모형 사장교의 변위를 측정하는 방법에 대해서 연구하고자 한다. 즉, 디지털 캠코더를 이용하여 촬영한 영상으로 중앙의 변위를 측정하고, 이를 유한요소 해석결과 및 변위계 실험결과와 비교, 분석을 통하여 디지털영상처리 기술의 타당성을 검증하고자 한다.

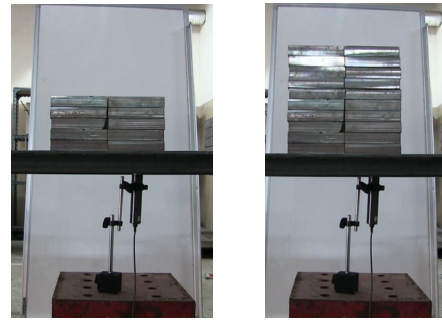
## 2. 디지털 영상처리

### 2.1 사장교 모형

실험 및 해석 모델은 Fig. 1과 같이 돌산대교를 30:1로 축소한 사장교로, 길이 15.5m, 너비 400mm이다. Fig. 2는 하중재하 상태를 나타낸 것이다. 하중은 사장교 중앙에 100kgf 및 200kgf의 하중을 재하하였다.



Fig. 1. Test and analysis model



(a) The 100kgf loading (b) The 200kgf loading

Fig. 2. Loading at the center of cable stayed bridge

### 2.2 디지털 영상처리

영상 촬영은 일반 가정에서 가지고 있는 디지털 캠코더를 이용하였다. Fig. 2와 같이 100kgf 재하했을 경우와 200kgf 재하했을 경우의 차이를 육안으로 비교하기란 불가능하다. 이와 같이 육안으로 구별하지 못하는 것을 상호상관(Cross-Correlation) 기법을 이용하면 두 영상사이의 차이를 알 수 있으며, 이로부터 변위를 구할 수 있다. 상호상관계수  $r$ 은 식(1)과 같으며, -1에서 1사이의 값을 가진다. 절대값 1에 가까울수록 닮은 정도가 강하다는 것을 의미한다. (Lewis, 1995)

$$r(u, v) = \frac{\sum_{xy} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}] [t(x - u, y - v) - \bar{t}]}{\left\{ \sum_{xy} [f(x, y) - \bar{f}_{u,v}]^2 \sum_{xy} [t(x - u, y - v) - \bar{t}]^2 \right\}^{0.5}} \quad (1)$$

여기서,  $f$ 는 원 영상의 서브 영상이고,  $t$ 는 비교할 (template) 영상이다. 또한,  $\bar{f}$ 와  $\bar{t}$ 는  $f$ 와  $t$ 의 평균을 의미한다. 식(1)을 정규화된 상호상관(Normalized Cross Correlation, NCC)이라고 한다.

영상은 픽셀(pixel)로 구성되어 있으며, 픽셀 좌표와 공간 좌표를 Fig. 3과 같이 나타내었다. 픽셀 좌표는 (r, c)로 나타내며, 이에 대응되는 공간좌표는 (x, y)와 같이 나타낸다.(Matlab, 2014)

상관 계수는 비교할 영상의 크기에 따라서 결과가 달라질 수 있다. 비교할 영상의 크기는 최소한 그 부분의 영상의 특징을 반영할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 50×50 픽셀 크기의 영상을 사용하였다. 원 영상의 크기는 너비 1698 픽셀, 높이 951 픽셀이다. Fig. 4는 비교할 영상의 크기를 예시한 것이다.

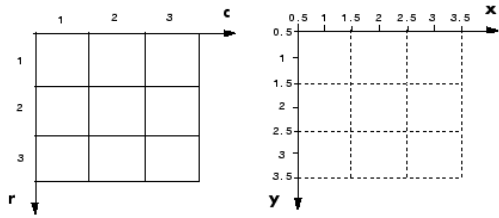
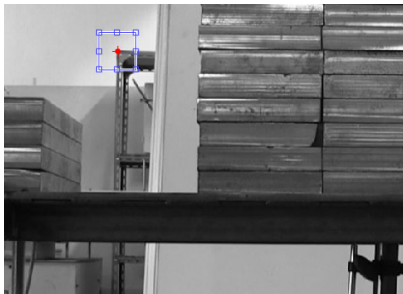


Fig. 3. Pixel coordinates and spatial coordinates



(a) 20×20 template image



(b) 50×50 template image

Fig. 4. The example of template image

### 3. ANSYS 구조해석

2장에서 설명한 디지털 영상처리 기법의 타당성을 검토하기 위해서 ANSYS 구조해석을 수행하여, 그 결과를 비교, 검토하였다. Fig. 5는 ANSYS의 해석 모델링을 도시한 것이다. 쉘 요소는 SHELL181 요소를 사용하였으며, 케이블은 LINK180 요소를 사용하였다. LINK180 요소는 트러스, 케이블, 스프링 등을 모델링하기 위한 요소로서, 인장만 받는 옵션(Tension-only, cable), 압축만 받는 옵션(Compression-only, gap)이 있어 케이블 요소를 모델링하기 적합하다. 케이블 요소는 기본적으로 비선형 해석을 수행하게 된다. (ANSYS, 2014)

또한, 쉘 요소는 일반 구조용 강재의 물성치를 적용하

였으며, 케이블 요소는 제작 특성상 강재의 70% 탄성계수(210GPa×0.7)를 적용하였다.

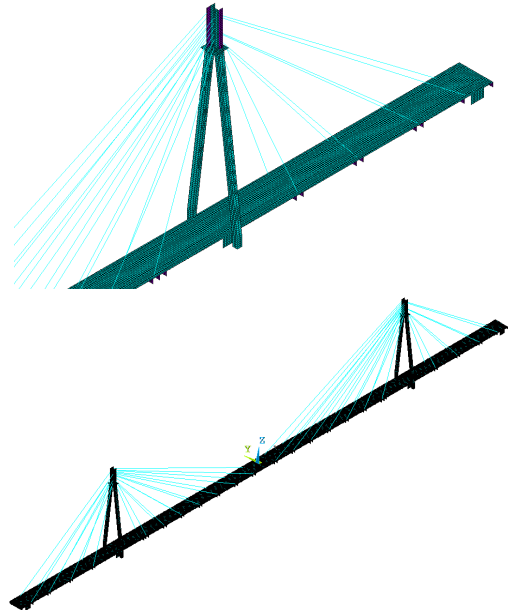


Fig. 5. ANSYS modeling

## 4. 결과 및 분석

### 4.1 디지털 영상처리

본 연구는 사장교의 변위를 측정하기 위하여 디지털 영상처리 기법을 적용하였으며, 일반 가정용 디지털 캠코더를 이용하여 Table 1, 2와 같이 촬영하였다. Table 1은 중앙 변위를 측정하기 위한 관심점(Interest point) 2개를 나타낸다.

캠코더 촬영시 셔터를 누를 때 화면이 흔들릴 수 있다. 이것을 보정하기 위해서 기준점(Reference point)이 필요하다. 기준점을 잘 설정하면 변형전후의 영상을 같은 위치에 매칭시킬 수 있다. 기준점은 변형전후에 변화의 가능성이 전혀없는 점이어야 한다. Table 2는 이러한 기준점을 나타낸 것이며, 타당성을 높이기 위해서 2개의 기준점을 설정하였다.

Table 3은 촬영시 화면 흔들림으로 인한 영상을 매칭시킨 것이다. 100kgf 재하시 영상과 200kgf 재하시 영상은 셔터를 누를 때 차이가 있을 수 있으며, 이를 각각 따

Table 1. The interested point


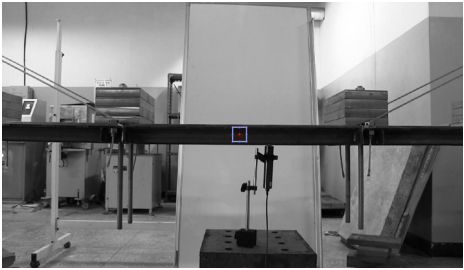
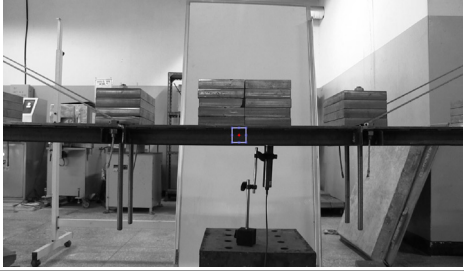
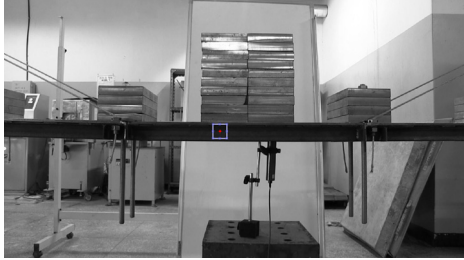
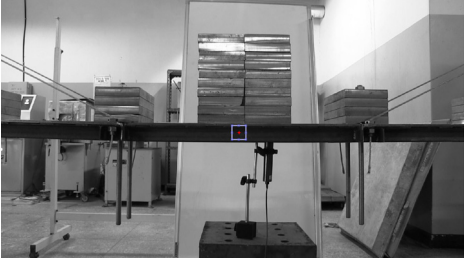
	Interested point 1 (P1)	Interested point 2 (P2)
Undeformed image (0 kgf)		
Deformed image (100 kgf)		
Deformed image (200 kgf)		

Table 2. The reference point

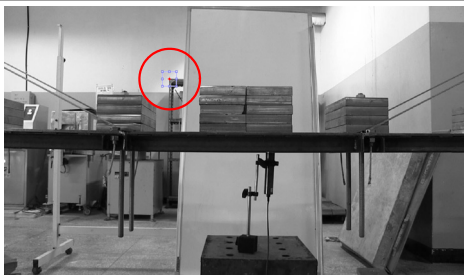
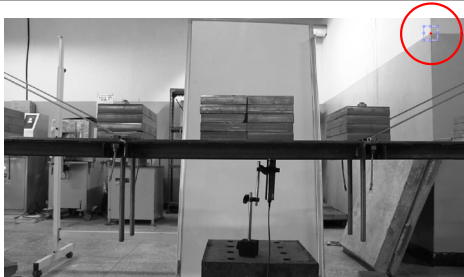
	Reference point 1 (R1)	Reference point 2 (R2)
Deformed image (100 kgf)		

Table 3. Pixel matching

Point	Original pixel coordinate $(x, y)$			Modified pixel coordinate $(x, y)$ (pixel matching)	
	Undeformed (0 kgf)	Deformed (100 kgf)	Deformed (200 kgf)	Deformed (100 kgf)	Deformed (200 kgf)
P1	<b>(792, 473)</b>	(794, 484)	(793, 488)	(792, 481)	(792, 487)
P2	<b>(873, 474)</b>	(875, 485)	(874, 489)	(873, 482)	(875, 485)
R1	<b>(612, 259)</b>	(614, 262)	(613, 260)	<b>(612, 259)</b>	<b>(612, 259)</b>
R2	<b>(1567, 56)</b>	(1569, 59)	(1568, 57)	<b>(1567, 56)</b>	<b>(1567, 56)</b>
Shift	100 kgf : <b>(-2, -3)</b> for R1 and R2, 200 kgf : <b>(-1, -1)</b> for R1 and R2				

로 보정해 주어야 한다. 표에서 알 수 있듯이 100kgf 영상은 (-2, -3), 200kgf 영상은 (-1, -1)을 보정 시켜주면 원래 영상과 매칭시킬 수 있다. 설정한 기준점 2개 모두 같은 보정값이 나타났으며, 이로 인해 영상처리에 대한 신뢰성이 증가하였다고 판단할 수 있다.

영상처리에 대한 변위 계산을 위해서 픽셀당 길이를 알아야 한다. 영상에서 알고 있는 길이를 이용하면 픽셀당 길이를 구할 수 있다. 본 연구에서는 하중 재하시 강재 벽돌 폭을 이용하였다. Fig. 2의 200kgf 영상의 맨위 벽돌의 픽셀 좌표는 (1259, 316)와 (1416, 319)이므로, 이들 사이의 길이는 157.03픽셀이다. 또한 실제 벽돌 폭은 150mm 이므로, 픽셀당 길이는 0.955mm로 계산된다. 이것을 이용하여 P1, P2에 대한 변위를 구하면 Table 4와 같다.

Table 4. The calculation of displacement

Point	100 kgf		200 kgf	
	pixel	mm	pixel	mm
P1	8	7.64	14	13.37
P2	8	7.64	14	13.37

### 4.2 ANSYS 구조해석 및 변위계 측정

전절에서 수행한 디지털 영상처리 결과의 타당성을 검토하기 위해서 ANSYS 구조해석을 수행하였으며, 변위계로 변위를 측정하였다.

Fig. 6은 ANSYS 구조해석 결과를 나타낸 것이다. 중앙 변위가 100kgf 재하시 5.84mm, 200kgf 재하시 11.76mm로 나타났다.

또한, Fig. 2와 같이 변위계를 설치하여 변위를 측정하였다. Fig. 7은 하중재하 후 30초간 측정된 결과를 나타낸 것이다. 100kgf 재하시 평균 6.51mm, 200kgf 재하시 평균 12.85mm로 나타났다.

### 4.3 결과 비교

Table 5는 영상처리(DIP) 결과, ANSYS 해석 결과 및 변위계 측정 결과를 비교한 것이다. 하중이 증가하여 변위가 커질 때 영상처리에 대한 신뢰성이 증가한 것으로 나타났다. 즉, 하중이 100kgf에서 200kgf으로 증가할 때, ANSYS 결과대비 31%에서 14%로 감소하였으며, 변위계 결과대비 17%에서 4%로 감소하였다. 200kgf 재하시 14%, 4%의 차이를 보이고 있어, 영상처리 기법으로 충분히 변위를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

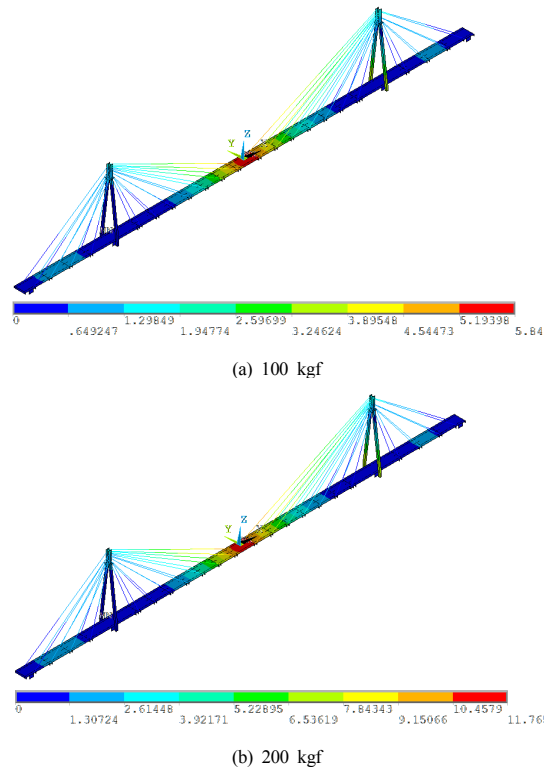


Fig. 6. ANSYS results

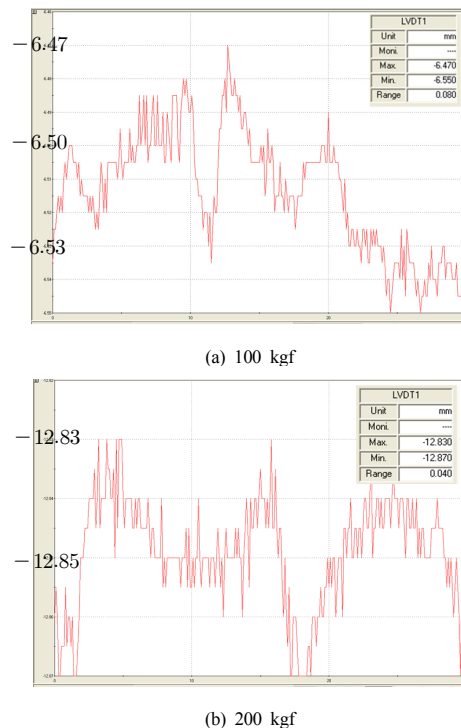


Fig. 7. The results of displacement meter

**Table 5.** The comparison of DIP, ANSYS and Disp. meter

	100 kgf	200 kgf
① DIP	7.64	13.37
② ANSYS	5.84	11.67
③ Disp. meter	6.51	12.85
Ratio 1 (① / ②)	1.31	1.14
Ratio 2 (① / ③)	1.17	1.04

### 5. 결론

본 연구는 모형 사장교의 변위를 측정하기 위한 방법으로 디지털 영상처리 기법을 도입하였으며, ANSYS 해석결과 및 변위계 측정결과와 비교, 분석하였다.

영상처리 기법은 상호상관 계수를 이용하였으며, 100kgf 재하 및 200kgf 재하시 실험을 수행하였다. 분석결과 하중이 증가하여 변위가 커질 때 영상처리에 대한 신뢰성이 증가한 것으로 나타났다. 즉, 하중이 100kgf에서 200kgf으로 증가할 때, ANSYS 결과대비 31%에서 14%로 감소하였으며, 변위계 결과대비 17%에서 4%로 감소하였다. 200kgf 재하시 14%, 4%의 차이를 보이고 있어, 영상처리 기법으로 충분히 변위를 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

### References

- [1] Matlab R2014b, "Image Processing Toolbox", 2014.
- [2] ANSYS 15.0, "Mechanical APDL", 2014.
- [3] Lewis, J. P., "Fast Normalized Cross-Correlation," Industrial Light & Magic, 1995.
- [4] N. Otsu, "A threshold selection method from gray-level histograms," in IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., vol. 9, pp. 62-66, 1979.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>
- [5] M. M. Fraz, M. Javed, and A. Basit, "A threshold selection method from gray-level histograms," in 4th IEEE International Conference on Emerging Technologies, pp. 232-236, 2008.
- [6] Son, B. J., Lee, S. Y., "Study on Fracture Area Measurement of Tension Specimen using Digital Image Processing", The Conference of The Korean Society for Advanced Composite Structures, pp. 45-46, 2015.

#### 손 병 직(Byung-Jik Son)

[정회원]



- 2000년 2월 : 서울시립대학교 토목공학과 공학석사
- 2003년 8월 : 서울시립대학교 토목공학과 공학박사
- 2005년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 해외건설플랜트학과 교수

<관심분야>

복합재료, 디지털영상처리, 손상탐지, 지진공학, 교량공학, 기계학습

#### 전 승 곤(Seung-Gon Jeon)

[정회원]



- 2011년 2월 : 건양대학교 건설시스템공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 ~ 현재 : 충남대학교 토목공학과 대학원 박사과정

<관심분야>

구조물상태모니터링, 실시간 구조물 진동제어

#### 허 광 희(Gwang-Hee Heo)

[정회원]



- 1994년 2월 : New Mexico 대학 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : New Mexico 대학 토목공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 현재 : 건양대학교 해외건설플랜트학과 교수

<관심분야>

구조물상태모니터링, 진동제어, 손상평가, 무선계측, 지진공학